

# 黄姑鱼“金鳞1号”形态性状对体重的影响分析

朱文<sup>1,2</sup>, 叶坤<sup>1,2</sup>, 王志勇<sup>1,2</sup>

(集美大学水产学院, 农业部东海海水健康养殖重点实验室, 福建厦门361021)

**[摘要]** 为研究黄姑鱼“金鳞1号”新品种各形态性状与体重间的相关关系, 从网箱中随机捞取402尾16月龄个体, 测量其全长( $X_1$ )、体长( $X_2$ )、头长( $X_3$ )、吻长( $X_4$ )、眼后头长( $X_5$ )、眼径( $X_6$ )、躯干长( $X_7$ )、体高( $X_8$ )、体厚( $X_9$ )、尾柄长( $X_{10}$ )、尾柄高( $X_{11}$ )、尾长( $X_{12}$ )及尾鳍长( $X_{13}$ )共13个形态学指标, 通过Microsoft Excel 2016和SPSS 22.0软件采用相关分析和通径分析法, 得到相关系数和决定系数。剔除不显著及共线性严重相关的性状后, 对黄姑鱼各形态性状与体重进行进一步回归分析, 以寻找影响黄姑鱼体重的主要形态性状。结果表明: 各相关系数中, 全长与体重间相关系数最大(雌性0.871, 雄性0.904); 被测性状与各回归系数均达到极显著正相关( $P < 0.01$ ), 性状与体重的总决定系数 $R^2_{♀} = 0.894$ ,  $R^2_{♂} = 0.912$ 。拟合得到的以雌性黄姑鱼体重( $Y$ )为因变量, 全长( $X_1$ )、体高( $X_8$ )、体厚( $X_9$ )为自变量的最佳线性回归方程为:  $Y_{♀} = -522.895 + 18.018 \times X_1 + 25.734 \times X_8 + 34.077 \times X_9$ , 以雄性黄姑鱼体重( $Y$ )为因变量, 全长、体高、体厚、尾鳍长为自变量的最佳线性回归方程为:  $Y_{♂} = -465.844 + 17.849 \times X_1 + 24.157 \times X_8 + 30.023 \times X_9 - 7.045 \times X_{13}$ 。

**[关键词]** 黄姑鱼; 形态性状; 体重; 通径分析; 多元线性回归

**[中图分类号]** S965.325

## The Effects of Morphological Traits on Body Weight of New Variety *Nibea albiflora* (Richardson) “Jinlin 1”

ZHU Wen<sup>1,2</sup>, YE Kun<sup>1,2</sup>, WANG Zhiyong<sup>1,2</sup>

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea (Ministry of Agriculture), Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to pursuit the correlation between various phenotypic traits and body weight of new variety *Nibea albiflora* “Jinlin 1”, 402 fish were randomly fished out of the cage and 13 phenotypic traits were measured, such as total length( $X_1$ ), body length( $X_2$ ), head length( $X_3$ ), snout length( $X_4$ ), head length behind eyes( $X_5$ ), eye diameter( $X_6$ ), torso( $X_7$ ), withers height( $X_8$ ), body width( $X_9$ ), length of caudal peduncle( $X_{10}$ ), depth of caudal peduncle( $X_{11}$ ), tail length( $X_{12}$ ), and length of caudal fin( $X_{13}$ ). The correlation coefficients and determination coefficients were obtained, using correlation and path analysis via Microsoft Excel 2016 and SPSS 22.0. All the traits collinear seriously or not significant were rejected, to hit the main phenotypic traits that affecting the body weight of *N. albiflora*, then multiple linear regression analysis was further performed, the results showed that the largest correlation coefficient was the effect of total length on body weight in all correlation coefficients (0.871 of female, 0.904 of male). All the regression coefficients between measured traits and

[收稿日期] 2017-11-03

[修回日期] 2018-02-27

[基金项目] 福建省农业高校产学研合作重大项目(2014N5011); 厦门市南方海洋研究中心重大项目(14GZY70NF34)

[作者简介] 朱文(1992—), 女, 硕士生, 从事水产动物遗传育种研究。通信作者: 王志勇(1963—), 男, 教授, 博导。

body weight had significant positive correlation ( $P < 0.01$ ). Total coefficient of determination of female and male was 0.894 and 0.912 respectively. The optimal linear regression equation was found by the body weight as the dependent variable, total length( $X_1$ ), withers height( $X_8$ ) and body width( $X_9$ ) as the independent variables for female:  $Y_{\text{female}} = -522.895 + 18.018 \times X_1 + 25.734 \times X_8 + 34.077 \times X_9$ . The optimal linear regression equation was found by the body weight as the dependent variable, total length( $X_1$ ), withers height( $X_8$ ) and body width( $X_9$ ) and length of caudal fin( $X_{13}$ ) as the independent variables for male:  $Y_{\text{male}} = -465.844 + 17.849 \times X_1 + 24.157 \times X_8 + 30.023 \times X_9 - 7.045 \times X_{13}$

**Keywords:** *Nibea albiflora*; phenotypic trait; body weight; path analysis; multiple linear regression equation

## 0 引言

黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) 属鲈形目 (Perciformes)、石首鱼科 (Sciaenidae)、黄姑鱼属 (*Nibea*)<sup>[1]</sup>, 主要分布于我国沿海及西北太平洋地区。黄姑鱼是我国重要的海水经济鱼类之一, 其肉质细腻, 味道鲜美, 受到许多消费者喜爱。但由于过量捕捞等原因, 造成黄姑鱼自然资源量锐减<sup>[2]</sup>, 刺激了人工养殖业的发展。目前, 全国黄姑鱼养殖年产量已超过 3 万吨, 对黄姑鱼的研究<sup>[3-7]</sup>也开展得较为广泛。对黄姑鱼的基础生物学全面深入地研究, 可以为遗传育种等研究提供必要的基础材料。

通径分析是标准化变量的多元线性回归分析方法<sup>[8]</sup>, 主要用于研究多个变量之间的因果关系。Wright<sup>[9]</sup>提出应用通径分析法挖掘直接和间接效应, 确定性状间作用及判断其作用大小。在育种过程中, 体重作为与产量相关的有效性状之一, 在不具备称量条件下, 借助有限的测量条件, 找到与体重显著相关的性状, 即可被间接选择。目前, 通径分析法已在鱼类<sup>[10-12]</sup>研究中得到广泛应用, 且找到了一些与体重显著相关的形态性状, 为选育工作提供了有益参考。关于黄姑鱼形态性状与体重的相关关系也有过研究报道, 如刘阳阳等<sup>[13]</sup>关于 6 月龄雌核发育系黄姑鱼体长、体高和躯干长等 8 个性状的研究表明体高为影响体重的主要性状, 并建立了以其研究群体为基础的回归方程; 郑昇阳等<sup>[14]</sup>研究了 2 月龄和 18 月龄黄姑鱼全长、躯干长和体高等 9 个性状与体重的相关关系, 并得出以体重为主, 体高、全长或体长性状为辅选择的结论; 薛宝贵等<sup>[15]</sup>对 1 龄黄姑鱼体长、体宽及躯干长等 11 个形态指标与体重进行了相关性研究, 确定了体长、体高、体厚、尾柄高和眼间距为自变量, 体重为因变量的最优回归方程。

本课题组从 2008 年起开展黄姑鱼遗传改良研究, 经过连续 4 代选育, 与未经定向选育的普通黄姑鱼群体相比, “金鳞 1 号”<sup>[16]</sup>具有生长快、养殖成活率较高等优点, 养殖 18 个月平均体重和成活率可分别提高 21% 和 25%, 养殖 24 个月平均体重和成活率分别提高 24% 和 30%, 养殖到商品鱼规格的时间可以大大缩短, 但到目前为止, 对其形态学性状方面尚没有研究报道。本文对 16 月龄的“金鳞 1 号”的 13 种形态学性状进行相关分析、通径分析及多元线性回归分析, 并通过多种显著性检验, 将拟合出形态性状与体重间的最佳多元线性回归方程, 旨在找出影响其体重的主要形态性状, 为进一步的遗传改良提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用鱼为本课题组 2014 年 9 月繁育的“金鳞 1 号” $F_4$ 代, 养殖于福建省宁德市霞浦县东吾洋海区。饲养管理参照常规的黄姑鱼养殖方式进行<sup>[17]</sup>。2015 年 12 月底从网箱中随机捞取 402 尾 16 月龄黄姑鱼进行形态性状测定, 其中雌鱼 203 尾, 雄鱼 199 尾。

### 1.2 数据测定

样本的体重用电子天平测定, 其他形态学指标如全长 ( $X_1$ )、体长 ( $X_2$ )、头长 ( $X_3$ )、吻长

( $X_4$ )、眼后头长( $X_5$ )、眼径( $X_6$ )、躯干长( $X_7$ )、体高( $X_8$ )、体厚( $X_9$ )、尾柄长( $X_{10}$ )、尾柄高( $X_{11}$ )、尾长( $X_{12}$ )及尾鳍长( $X_{13}$ )等13个性状的测量方法同文献[18],且体重精确至0.01 g,其他形态学指标精确至0.01 cm。

### 1.3 统计分析

测得的数据采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件进行统计分析,利用杜家菊<sup>[19]</sup>和张琪<sup>[20]</sup>的方法,对各性状进行统计整理、相关分析、通径分析及多元线性回归分析,获得形态性状对体重的通径系数与决定系数。计算原理及方法可参照明道绪<sup>[21]</sup>的方法。计算公式为:相关系数  $r_i = P_i + \sum r_{ij}P_j$ , 直接决定系数  $d_i = P_i^2$ , 共同决定系数  $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$ , 其中  $r_{ij}$  为性状之间的相关系数,  $P_i$  为直接通径系数,  $P_j$  为间接通径系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 所测性状表型参数估计值

体重和各形态性状数据统计结果见表1。各性状中,雄鱼眼后头长变异系数最大(34.36%),其次是体重(23.69%);雌鱼尾柄高变异系数最大(23.16%),其次是尾柄长与体重(分别为21.80%和20.39%);雌雄变异系数最小的两个性状均为全长,分别为6.61%与6.35%。

表1 黄姑鱼各形态性状的表型参数

Tab.1 The phenotypic parameters of morphological traits in *Nibeal albiflora*

性状 Trait	雌性 ♀			雄性 ♂		
	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 CV/%	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 CV/%
体重 Y/g	250.88	51.16	20.39	219.66	52.05	23.69
全长 $X_1$ /cm	25.24	1.60	6.35	24.25	1.60	6.61
体长 $X_2$ /cm	22.17	1.63	7.34	21.21	1.56	7.34
头长 $X_3$ /cm	6.09	0.42	6.96	6.00	1.19	19.77
吻长 $X_4$ /cm	1.76	0.24	13.47	1.68	0.22	13.31
眼后头长 $X_5$ /cm	3.41	0.4	11.67	3.41	1.17	34.36
眼径 $X_6$ /cm	0.93	0.16	17.76	0.91	0.16	17.80
躯干长 $X_7$ /cm	11.87	1.11	9.39	11.2	1.51	13.48
体高 $X_8$ /cm	7.45	0.60	8.11	7.12	0.68	9.53
体厚 $X_9$ /cm	3.73	0.40	10.74	3.58	0.41	11.40
尾柄长 $X_{10}$ /cm	3.39	0.74	21.80	3.24	0.58	17.77
尾柄高 $X_{11}$ /cm	1.99	0.46	23.16	1.93	0.23	12.15
尾长 $X_{12}$ /cm	7.28	0.81	11.17	7.06	0.66	9.31
尾鳍长 $X_{13}$ /cm	3.89	0.51	13.11	3.82	0.56	14.65

### 2.2 性状间的相关分析

“金鳞1号”黄姑鱼雌性和雄性体重的频率分布直方图见图1和图2,近似服从正态分布,可以继续进行分析。两两形态性状间的相关关系如表2所示。

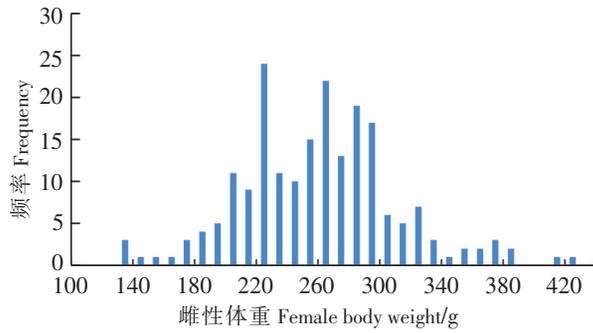


图 1 雌性体重分布直方图

Fig.1 Histogram of female for body weight distribution

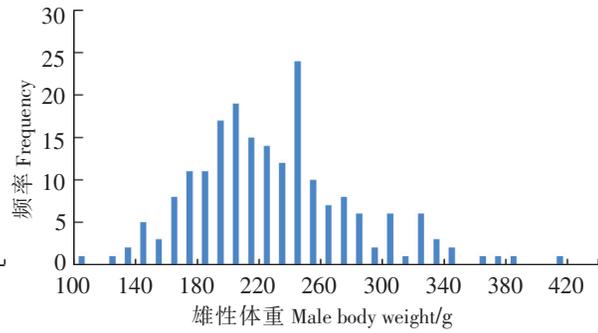


图 2 雄性体重分布直方图

Fig.2 Histogram of male for body weight distribution

表 2 黄姑鱼各形态性状的表型相关系数

Tab.2 Phenotypic correlation analysis among morphological traits for *Nibea albiflora*

性别	性状	体重	全长	体长	头长	吻长	眼后头	眼径	躯干长	体高	体厚	尾柄长	尾柄高	尾长	尾鳍长
Gender	Trant	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	长 X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
雌性 ♀	体重 Y	1	0.871 **	0.804 **	0.581 **	0.343 **	0.310 **	0.254 **	0.663 **	0.747 **	0.677 **	0.384 **	0.260 **	0.504 **	0.248 **
	全长 X <sub>1</sub>		1	0.922 **	0.611 **	0.345 **	0.320 **	0.304 **	0.746 **	0.577 **	0.489 **	0.470 **	0.251 **	0.631 **	0.325 **
	体长 X <sub>2</sub>			1	0.578 **	0.322 **	0.292 **	0.318 **	0.716 **	0.540 **	0.454 **	0.447 **	0.264 **	0.535 **	0.206 **
	头长 X <sub>3</sub>				1	0.238 **	0.751 **	0.418 **	0.173 *	0.417 **	0.339 **	0.327 **	0.169 *	0.445 **	0.236 **
	吻长 X <sub>4</sub>					1	-0.348 **	0.016	0.387 **	0.211 **	0.292 **	0.043	-0.016	0.025	-0.023
	眼后头长 X <sub>5</sub>						1	0.021	-0.053	0.281 **	0.108	0.210 **	0.136	0.311 **	0.192 **
	眼径 X <sub>6</sub>							1	0.017	0.093	0.193 **	0.274 **	0.129	0.359 **	0.176 *
	躯干长 X <sub>7</sub>								1	0.451 **	0.356 **	-0.023	0.197 **	0.008	0.047
	体高 X <sub>8</sub>									1	0.441 **	0.263 **	0.240 **	0.302 **	0.101
	体厚 X <sub>9</sub>										1	0.199 **	0.099	0.299 **	0.189 **
	尾柄长 X <sub>10</sub>											1	0.091	0.787 **	-0.192 **
	尾柄高 X <sub>11</sub>												1	0.136	0.085
	尾长 X <sub>12</sub>													1	0.454 **
尾鳍长 X <sub>13</sub>														1	
雄性 ♂	体重 Y	1	0.904 **	0.876 **	0.232 **	0.402 **	0.153 *	0.042	0.548 **	0.833 **	0.736 **	0.477 **	0.492 **	0.528 **	0.130
	全长 X <sub>1</sub>		1	0.966 **	0.270 **	0.439 **	0.183 **	0.050	0.576 **	0.724 **	0.612 **	0.488 **	0.465 **	0.630 **	0.239 **
	体长 X <sub>2</sub>			1	0.269 **	0.447 **	0.185 **	0.016	0.571 **	0.686 **	0.599 **	0.542 **	0.465 **	0.558 **	0.098
	头长 X <sub>3</sub>				1	0.170 *	0.973 **	0.052	-0.561 **	0.190 **	0.117	0.110	0.133	0.144 *	0.057
	吻长 X <sub>4</sub>					1	-0.015	-0.028	0.276 **	0.366 **	0.266 **	0.169 *	0.251 **	0.130	-0.022
	眼后头长 X <sub>5</sub>						1	-0.080	-0.605 **	0.117	0.064	0.063	0.091	0.079	0.028
	眼径 X <sub>6</sub>							1	-0.123	0.045	0.025	0.114	-0.032	0.309 **	0.246 **
	躯干长 X <sub>7</sub>								1	0.426 **	0.370 **	0.172 *	0.291 **	0.120	-0.036
	体高 X <sub>8</sub>									1	0.552 **	0.372 **	0.386 **	0.444 **	0.139 *
	体厚 X <sub>9</sub>										1	0.367 **	0.395 **	0.432 **	0.131
	尾柄长 X <sub>10</sub>											1	0.261 **	0.596 **	-0.329 **
	尾柄高 X <sub>11</sub>												1	0.224 **	-0.005
	尾长 X <sub>12</sub>													1	0.562 **
尾鳍长 X <sub>13</sub>														1	

说明: \*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ ); \* 表示显著相关 ( $P < 0.05$ )。

Notes: \*\* means very significant correlation ( $P < 0.01$ ); \* means significant correlation ( $P < 0.05$ ).

雌性和雄性各形态性状均以全长与体长的相关系数最大, 分别为 0.922 (雌性) 和 0.966 (雄性)。雌性各形态性状与体重的 Pearson 相关系数在 0.248 至 0.871 之间, 均达到极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 相关系数从大到小依次为: 全长 > 体长 > 体高 > 体厚 > 躯干长 > 头长 > 尾长 > 尾柄长 > 吻长 > 眼后头长 > 尾柄高 > 眼径 > 尾鳍长, 其中以全长与体重的相关系数最大, 尾鳍长与体重的相关系数最小。雄性各形态性状与体重的 Pearson 相关系数在 0.042 至 0.904 之间, 其中除眼径和尾鳍长外, 均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 相关系数从大到小依次为: 全长 > 体长 > 体高 > 体厚 > 躯干长 > 尾长 > 尾柄高 > 尾柄长 > 吻长 > 头长 > 眼后头长 > 尾鳍长 > 眼径, 其中也以全长与体重的 Pearson 相关系数最大, 而眼径最小, 尾鳍长仅次于眼径, 与雌鱼不尽一致。

2.3 各形态性状对体重的影响效果分析

以体重为因变量, 各形态性状为自变量, 利用软件 SPSS 22.0, 采用逐步剔除法, 进行多元线性回归分析。剔除共线性严重的体长和对体重影响不显著 ( $P > 0.05$ ) 的性状, 保留与体重 ( $Y$ ) 极显著的性状组成最佳多元回归方程, 雌性黄姑鱼的全长 ( $X_1$ )、体高 ( $X_8$ ) 和体厚 ( $X_9$ ) 三个性状, 雄性黄姑鱼保留全长 ( $X_1$ )、体高 ( $X_8$ )、体厚 ( $X_9$ ) 和尾鳍长 ( $X_{13}$ ) 四个性状。对偏回归系数进行标准化, 得到逐步剔除回归后与体重极显著相关的性状的通径系数, 并计算相应的间接通径系数。

根据相关系数的组成效应, 可将形态性状与体重的相关系数 ( $r_i$ ) 剖分成两部分: 各性状的直接作用 (通径系数,  $P_i$ ) 和两两性状间的间接作用 ( $r_{ij}P_j$ ), 即  $r_i = P_i + \sum r_{ij}P_j$  (见表3、表4)。表3显示, 16月龄雌性黄姑鱼3种形态性状对体重的直接作用由大到小的顺序为全长 > 体高 > 体厚, 而16月龄雄性黄姑鱼4种性状间接作用之和 (除全长) 均大于直接作用。表3、表4中 VIF (variance inflation factor) 值均小于 10, 说明本文分析结果可靠。

表3 雌性黄姑鱼各形态性状对体重的影响效果

Tab.3 The effects of morphological traits on body weight of female *Nibea albiflora*

性状 Trait	相关系数 Correlation	通径系数 Direct path coefficients	间接作用 Indirect effects				合计 Total	VIF
			全长 $X_1$ Total length	体高 $X_8$ Withers height	体厚 $X_9$ Body width			
全长 Total length $X_1$	0.871	0.564		0.175	0.131	0.306	1.671	
体高 Withers height $X_8$	0.747	0.304	0.326		0.118	0.444	1.577	
体厚 Body width $X_9$	0.677	0.267	0.276	0.134		0.410	1.383	

表4 雄性黄姑鱼各形态性状对体重的影响效果

Tab.4 The effects of morphological traits on body weight of male *Nibea albiflora*

性状 Trait	相关系数 Correlation	通径系数 Direct path coefficients	间接作用 Indirect effects				合计 Total	VIF
			全长 $X_1$ Total length	体高 $X_8$ Withers height	体厚 $X_9$ Body width	尾鳍长 $X_{13}$ Length of caudal fin		
全长 Total length $X_1$	0.904	0.550		0.228	0.144	-0.018	0.354	2.527
体高 Withers height $X_8$	0.833	0.315	0.398		0.130	-0.010	0.518	2.197
体厚 Body width $X_9$	0.736	0.236	0.337	0.174		-0.010	0.501	1.665
尾鳍长 Length of caudal fin $X_{13}$	0.130	-0.076	0.131	0.044	0.031		0.206	1.063

2.4 各性状对体重的决定程度分析

根据各性状对体重的决定系数公式, 得到单个性状及两两性状对体重的决定系数, 如表5、表6所示。对角线以上的数值为两性状间对体重的共同决定系数, 斜对角线上的数值为各性状单独对体重的决定系数, 雌性与雄性的总决定系数分别为 0.894 和 0.912, 基本可以确定, 通过逐步回归选择的性状为影响 16 月龄雌性黄姑鱼体重的主要性状。其中全长对体重的决定系数最大, 雌性为 0.318, 雄性为 0.303; 雌性体厚和体高对体重的共同决定系数最小, 为 0.067; 雄性各性状与尾鳍长的共同决定系数均为负值。

表 5 雌性黄姑鱼形态性状对体重的决定系数

Tab. 5 The determinant coefficients of the morphological traits on body weight of female *Nibea albiflora*

性状 Trait	全长 $X_1$ Total length	体高 $X_8$ Withers height	体厚 $X_9$ Body width	总决定系数 Total $R^2$
全长 Total length $X_1$	0.318	0.198	0.147	0.893
体高 Withers height $X_8$		0.092	0.067	
体厚 Body width $X_9$			0.071	

表 6 雄性黄姑鱼形态性状对体重的决定系数

Tab. 6 The determinant coefficients of the morphological traits on body weight of male *Nibea albiflora*

性状 Trait	全长 $X_1$ Total length	体高 $X_8$ Withers height	体厚 $X_9$ Body width	尾鳍长 $X_{13}$ Length of caudal fin	总决定系数 Total $R^2$
全长 Total length $X_1$	0.303	0.251	0.159	-0.020	0.912
体高 Withers height $X_8$		0.099	0.082	-0.007	
体厚 Body width $X_9$			0.056	-0.005	
尾鳍长 Length of caudal fin $X_{13}$				0.006	

2.5 多元回归方程的建立

采用逐步剔除法, 经显著性检验, 剔除不显著的自变量, 结果见表 7。

表 7 各形态性状对体重回归系数

Tab. 7 Regression coefficients of morphological traits on body weight

性别 Gender	模型 Model	非标准化回归系数 Unstandardized coefficients	标准化回归系数 Standardized coefficients	$t$	Sig.
雌性 ♀	常量 Constant	-450.531 ± 28.016		-16.081	0.000
	全长 $X_1$	27.792 ± 1.108	0.871	25.087	0.000
	常量 Constant	-511.449 ± 22.948		-22.287	0.000
	全长 $X_1$	21.024 ± 1.077	0.659	19.512	0.000
	体高 $X_8$	31.096 ± 2.856	0.367	10.886	0.000
	常量 Constant	-522.859 ± 18.730		-27.915	0.000
	全长 $X_1$	18.018 ± 0.927	0.564	19.441	0.000
	体高 $X_8$	25.734 ± 2.387	0.304	10.782	0.000
雄性 ♂	体厚 $X_9$	34.077 ± 3.369	0.267	10.115	0.000
	常量 Constant	-492.066 ± 24.008		-20.496	0.000
	全长 $X_1$	29.344 ± 0.988	0.904	29.710	0.000
	常量 Constant	-482.914 ± 19.190		-25.165	0.000
	全长 $X_1$	20.538 ± 1.144	0.633	17.955	0.000
	体高 $X_8$	28.727 ± 2.703	0.375	10.628	0.000
	常量 Constant	-478.356 ± 16.214		-29.503	0.000
	全长 $X_1$	17.121 ± 17.121	0.528	16.479	0.000
	体高 $X_8$	24.553 ± 2.330	0.320	10.538	0.000
	体厚 $X_9$	30.147 ± 3.374	0.237	8.935	0.000
雌性 ♀	常量 Constant	-465.844 ± 16.074		-28.981	0.000
	全长 $X_1$	17.849 ± 1.026	0.550	17.397	0.000
	体高 $X_8$	24.157 ± 2.260	0.315	10.687	0.000
	体厚 $X_9$	30.023 ± 3.270	0.236	9.181	0.000
	尾鳍长 $X_{13}$	-7.045 ± 1.908	-0.076	-3.693	0.000

以体重 ( $Y$ ) 为因变量, 雌性以全长 ( $X_1$ )、体高 ( $X_8$ ) 与体厚 ( $X_9$ ) 为自变量, 雄性以全长 ( $X_1$ )、体高 ( $X_8$ )、体厚 ( $X_9$ ) 和尾鳍长 ( $X_{13}$ ) 为自变量拟合出的最佳多元线性回归方程为:

$$Y_{\ominus} = -522.895 + 18.018 \times X_1 + 25.734 \times X_8 + 34.077 \times X_9,$$

$$Y_{\ominus} = -465.844 + 17.849 \times X_1 + 24.157 \times X_8 + 30.023 \times X_9 - 7.045 \times X_{13}。$$

在多元回归分析中, 回归平方和 SSR 反映了自变量共同对因变量的线性影响; 残差平方和 SSE 体现了实验误差及不可估量因素对实验结果的影响, 用  $F$  检验来分析二者之间的差别是否显著。当  $F$  值接近 1, 说明数据间的差异没有统计学意义; 若大于 1, 则说明数据间有差异, 且有统计学意义, 自变量与因变量存在显著的线性关系<sup>[22]</sup>。表 8 中  $P < 0.01$ , 说明该样本数据间具有统计学意义, 雌性全长、体高及体厚三个形态性状, 雄性全长、体高、体厚和尾鳍长 4 个性状与体重拟合的多元线性回归方程是可靠的。

表 8 多元回归方程的方差分析

Tab. 8 Analysis of variance of multiple regression equation

性别 Gender	模型 Model	总平方和 SST	自由度 $df$	均方 MS	$F$	显著性 Sig.
	回归 Regression	400651.483	1	400651.483		
	残差 Residual	127961.079	201	636.622	629.339 **	0.000 <sup>a</sup>
	总计 Total	528612.562	202			
雌性 ♀	回归 Regression	448261.962	2	224130.981		
	残差 Residual	80350.600	200	401.753	557.883 **	0.000 <sup>b</sup>
	总计 Total	528612.562	202			
	回归 Regression	475545.987	3	158515.329		
	残差 Residual	53066.575	199	266.666	594.434 **	0.000 <sup>c</sup>
	总计 Total	528612.562	202			
	回归 Regression	438518.062	1	438518.062		
	残差 Residual	97869.828	197	496.801	882.683 **	0.000 <sup>a</sup>
	总计 Total	536387.890	198			
雌性 ♂	回归 Regression	474299.825	2	237149.913		
	残差 Residual	62088.064	196	316.776	748.636 **	0.000 <sup>b</sup>
	总计 Total	536387.890	198			
	回归 Regression	492334.248	3	164111.416		
	残差 Residual	44053.642	195	225.916	726.426 **	0.000 <sup>c</sup>
	总计 Total	536387.890	198			
	回归 Regression	495227.816	4	123806.954		
	残差 Residual	41160.074	194	212.165	583.540 **	0.000 <sup>d</sup>
	总计 Total	536387.890	198	438518.062		

说明: a—全长; b—全长, 体高; c—全长, 体高, 体厚; d—全长, 体高, 体厚, 尾鳍长; \* \* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Notes: a—total length; b—total length, withers height; c—total length, withers height, body width; d—total length, withers height, body width, length of caudal fin; \* \* means very significant correlation ( $P < 0.01$ ).

### 3 讨论

本研究中测得雌性黄姑鱼“金鳞1号”16月龄个体各形态性状与体重间 Pearson 相关系数在 0.248 与 0.871 之间, 均达到极显著相关 ( $P < 0.01$ )。雄鱼除眼径和尾鳍长外, 其他已测性状与体重间的 Pearson 相关系数达到极显著, 其中雌雄性黄姑鱼均为全长、体长、体高、体厚与体重的相关系数较大。雄性黄姑鱼对 203 尾雌鱼和 199 尾雄鱼测量的结果, 除了眼后头长之外, 其余 12 个性状表型测定均值都是雌鱼大于雄鱼, 表明黄姑鱼雌鱼生长速度快于雄鱼, 这与徐冬冬等<sup>[23]</sup>和 Takita

等<sup>[24]</sup>的研究结果相一致。因此,对黄姑鱼开展全雌育种研究,将具有实际应用价值。

通径分析的结果表明,16月龄雌雄性黄姑鱼“金鳞1号”的全长、体高及体厚与体重存在极显著正相关,其中全长对体重的相关系数、决定系数均最大,说明该三种形态性状即为影响体重的主要性状<sup>[25]</sup>。这与半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)三种形态性状(全长、体高及体厚)对体重影响的研究结果<sup>[26]</sup>一致,但与郑昇阳<sup>[14]</sup>、薛宝贵等<sup>[15]</sup>和刘阳阳等<sup>[13]</sup>报道对黄姑鱼的同类研究结果有一定差异。郑昇阳<sup>[14]</sup>和薛宝贵等<sup>[15]</sup>报道影响2月龄黄姑鱼体重的主要性状为全长和躯干长,影响12月龄黄姑鱼体重的主要性状为体长、体高和体厚,影响18月龄黄姑鱼体重的主要性状则为体高;刘阳阳等<sup>[13]</sup>对6月龄雌核发育黄姑鱼研究的结果,影响其体重的主要性状为体长。刘贤德等<sup>[11,27]</sup>报道了影响6月龄大黄鱼(*Larimichthys crocea*)体重的主要性状为头长、全长及体长,影响13月龄大黄鱼体重的主要性状则为体长与体高,影响20月龄大黄鱼体重的主要性状则为全长、体长与体高。本研究中由于体长与全长存在很强的同线性,因此在进行对体重影响的形态学性状分析时将体长剔除在外。毫无疑问,体长也是影响16月龄“金鳞1号”黄姑鱼体重的一个主要性状。这与薛宝贵等<sup>[15]</sup>对12月龄黄姑鱼及刘贤德等<sup>[11]</sup>对13月龄与20月龄大黄鱼的研究结果相一致。综合本研究以及其他研究者对黄姑鱼的研究结果,可以推测,在早期生长发育阶段(到6月龄为止),影响黄姑鱼体重的最主要形态学性状是体长,此阶段黄姑鱼体重的增加主要依赖于体长的增长;随后,体高和体厚的增长也逐渐成为黄姑鱼体重增加的重要因素;到18月龄时,体长生长减慢,体高(以及体厚)的增长成为体重增加的最主要决定因素。这与吴常文等<sup>[3]</sup>在对东海区野生黄姑鱼年龄与生长关系的研究中发现的随着年龄增长,黄姑鱼体长生长速度不断快速下降的结果也相一致。可见,不同物种及品种在不同生长阶段影响体重的主要性状都可能存在差异。因此,有必要对不同物种及品种的经济鱼类在不同生长发育阶段开展系统的研究,以深入了解其形态学性状与体重的相关关系,从而为其遗传育种和养殖及销售管理等提供理论依据。

另一方面,本研究中标准化回归系数显著性检验结果表明,全长、体高及体厚与体重的偏回归系数均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),所求方程成立。对回归方程进行 $F$ 检验,结果表明,所拟合的多元回归方程达到极显著水平( $P < 0.01$ ),该方程有意义。因此,对于16月龄左右的黄姑鱼“金鳞1号”,可以将所选的3种形态性状作为自变量对体重进行预测和估计,其结果是可靠的。本文的结果为研究黄姑鱼形态性状的生长规律和遗传育种等提供了有用的基础材料。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱元鼎. 中国石首鱼类分类系统的研究和新属新种的叙述 [M]. 上海:上海科学技术出版社,1963.
- [2] 徐冬冬,李三磊,楼宝,等. 黄姑鱼的生物学特征和养殖生态学的研究现状及养殖前景 [J]. 渔业信息与战略, 2010, 25(10): 23-26.
- [3] 吴常文,赵淑江,胡春春. 东海黄姑鱼年龄与生长的初步研究 [J]. 海洋渔业, 2005, 27(3): 193-199.
- [4] 吕纪增. 黄姑鱼五种常见病害的防治 [J]. 齐鲁渔业, 2006(6): 46-47.
- [5] 韩志强,高天翔,韩冰,等. 黄姑鱼群体遗传结构的同工酶分析 [J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 44-48.
- [6] 耿智,徐冬冬,史会来,等. 黄姑鱼(*Nibea albiflora* Richardson)早期生长发育研究 [J]. 海洋科学进展, 2012, 30(1): 77-86.
- [7] 杨育凯,谢仰杰,蔡明夷,等. 黄姑鱼雌核发育诱导及鉴定 [J]. 水产学报, 2013, 37(9): 1297-1303.
- [8] GARSON D. Path analysis [M]. (S. I.); Statistical Associates Publishing, 2013: 1-21.
- [9] WRIGHT S. Correlation and causation [J]. Journal of Agricultural Research, 1921, 20(7): 557-585.
- [10] 何小燕,刘小林,白俊杰,等. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析 [J]. 水产学报, 2009, 33(4): 597-603.
- [11] 刘贤德,蔡明夷,王志勇,等. 不同生长时期大黄鱼形态性状与体重的相关性分析 [J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 159-163.
- [12] KORA H A, TSUCHIMOTO M U, MIYATA K A, et al. Estimation of body fat content from standard body length and <http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

- body weight on cultured red sea bream [J]. Fisheries Science, 2000, 66(2): 365-371.
- [13] 刘阳阳, 刘峰, 楼宝, 等. 雌核发育系黄姑鱼的形态性状对体质量的影响 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2016, 35(6): 458-463.
- [14] 郑昇阳. 不同生长阶段黄姑鱼形态性状对体质量的影响效果分析 [J]. 宁德师范学院学报 (自然科学版), 2015, 27(4): 413-417.
- [15] 薛宝贵, 辛俭, 楼宝, 等. 黄姑鱼一龄幼鱼形态性状对体重的影响分析 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2011, 30(6): 492-498.
- [16] 王志勇, 谢仰杰, 陈庆凯. 2017 水产新品种推广指南 [M]. 北京: 海洋出版社, 2017: 27-43.
- [17] 刘巧灵. 黄姑鱼 *Nibea albiflora* (Richardson) 苗种网箱暂养技术研究 [J]. 渔业信息与战略, 2009, 24(1): 20-22.
- [18] 谌微, 王盼盼, 肖世俊, 等. 大黄鱼形态指标体系及雌雄差异分析 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2014, 19(6): 401-408.
- [19] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法 [J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [20] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现 [J]. 农业网络信息, 2007(3): 109-110.
- [21] 明道绪, 王超. 通径分析 (I): 基本步骤 [J]. 四川农学院学报, 1983, 1(1): 129-136.
- [22] 明道绪. 生物统计附试验设计 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [23] 徐冬冬, 詹炜, 楼宝, 等. 网箱养殖黄姑鱼生长特性初步研究 [J]. 渔业现代化, 2010, 37(5): 34-36.
- [24] TAKITA T, SATO T, KASAI K. Age and growth of *Nibea albiflora* (Sciaenidae) distributed in Ariake Sound [J]. Nsugaf, 2008, 59(1): 39-44.
- [25] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析 [J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 673-678.
- [26] 刘峰, 陈松林, 刘肖峰, 等. 半滑舌鳎 3 个形态性状与体质量的相关及通径分析 [J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102.
- [27] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 闽-粤东族大黄鱼生长性状的相关与通径分析 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2008, 38(6): 916-920.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)